



Norois

Environnement, aménagement, société

191 | 2004/2

Les types de temps

Ambiances climatiques instantanées

Application à la microclimatologie du Spitsberg

Climatological instantaneous ambiance: application to the Spitsberg's microclimatology

Daniel Joly



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/norois/1016>

DOI : 10.4000/norois.1016

ISBN : 978-2-7535-1539-0

ISSN : 1760-8546

Éditeur

Presses universitaires de Rennes

Édition imprimée

Date de publication : 1 mars 2004

Pagination : 43-57

ISBN : 978-2-86847-977-8

ISSN : 0029-182X

Référence électronique

Daniel Joly, « Ambiances climatiques instantanées », *Norois* [En ligne], 191 | 2004/2, mis en ligne le 28 août 2008, consulté le 30 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/norois/1016> ; DOI : 10.4000/norois.1016

Ce document a été généré automatiquement le 30 avril 2019.

© Tous droits réservés

Ambiances climatiques instantanées

Application à la microclimatologie du Spitsberg

Climatological instantaneous ambiance: application to the Spitsberg's microclimatology

Daniel Joly

Introduction

- 1 Le concept d'ambiance climatique instantanée (ACI) a été défini dans le cadre de mes travaux de microclimatologie au Spitsberg (Joly, 1982A ; Joly, 1994). La modélisation qui avait été envisagée nécessitait que les variations de température observées à différents niveaux dans l'air (0, 5, 10, 20, 50, 100 cm au-dessus de la surface du sol) pussent être corrélées à des états homogènes de l'atmosphère. Les types de temps synoptiques ne pouvaient pas convenir pour au moins deux principales raisons :
 - ils s'inscrivent à des niveaux d'échelle pas du tout adaptés à la problématique,
 - ils entraînent des conditions de temps variables.
- 2 Or, en microclimatologie, la structure thermique de la basse couche de l'atmosphère (jusqu'à 1m environ) est prioritairement dépendante du temps qu'il fait au moment de l'observation. C'est ainsi qu'est né ce concept d'ACI, locution nouvelle qui a été forgée en vue d'éviter l'ambiguïté liée à l'utilisation de la locution classique "type de temps" qui désigne à la fois des situations de circulation et le temps qu'il fait. La présentation qui a été faite dans le cadre des journées de la Commission climat-santé fut déclinée selon les deux volets suivants :
 - définition et description des ACI et, aux échelles supérieures, des ambiances climatiques journalières (ACJ) et des périodes de temps ;
 - application des ACI à la climatologie des échelles micro et locales.
- 3 Le terrain retenu pour l'étude des ACI est le Spitsberg. La station d'« Isfjord Radio » et le secteur proche de la base française du Spitsberg (Kongsfjorden et station « Corbel »), vers Ny-Ålesund serviront successivement de support à la première et la seconde partie de la présentation.

Les ambiances climatiques instantanées.

Définition des ACI

- 4 Le « temps qu'il fait » au-dessus d'un lieu agit en permanence sur les caractéristiques thermiques de ce dernier. Il détermine, en fonction de ses caractéristiques propres et dans sa succession habituelle (Sorre, 1961), le climat tel qu'il est réellement ressenti par les plantes, les animaux et les hommes. Le « temps qu'il fait » est perçu grâce à un échantillonnage statistique, au travers d'observations ponctuelles, enregistrées régulièrement à 6 heures d'intervalle (1, 7, 13 et 19 h). Sur la période d'étude retenue (les deux mois d'été, juillet et août, de 1957 à 1975), 4712 observations ont été archivées. Chaque observation, représentative de la période de 6 heures qui la sépare de l'observation précédente, est caractérisée par les 9 descripteurs météorologiques disponibles que l'on a jugé utile de retenir :
- 11 concernent le temps qu'il fait, ponctuellement, à l'heure de l'observation : pression, température, humidité relative, force et direction du vent, taux de nébulosité et type des nuages, hauteur du plafond, absence/présence de précipitations et type des ces dernières, situation synoptique ;
 - 2 concernent la période de 6 heures écoulée avant l'observation. Il s'agit de la hauteur des précipitations accumulées et la force du vent maximale enregistrée durant le laps considéré.
- 5 Une Analyse factorielle des correspondances (AFC) a été effectuée en vue d'identifier les variables structurantes du corpus ainsi constitué (figure 1). Ces dernières sont au nombre de 4 : il s'agit de la nébulosité, de la présence/absence des précipitations durant les 6 heures précédentes, de la présence/absence des précipitations au moment de l'observation et enfin de la force du vent.

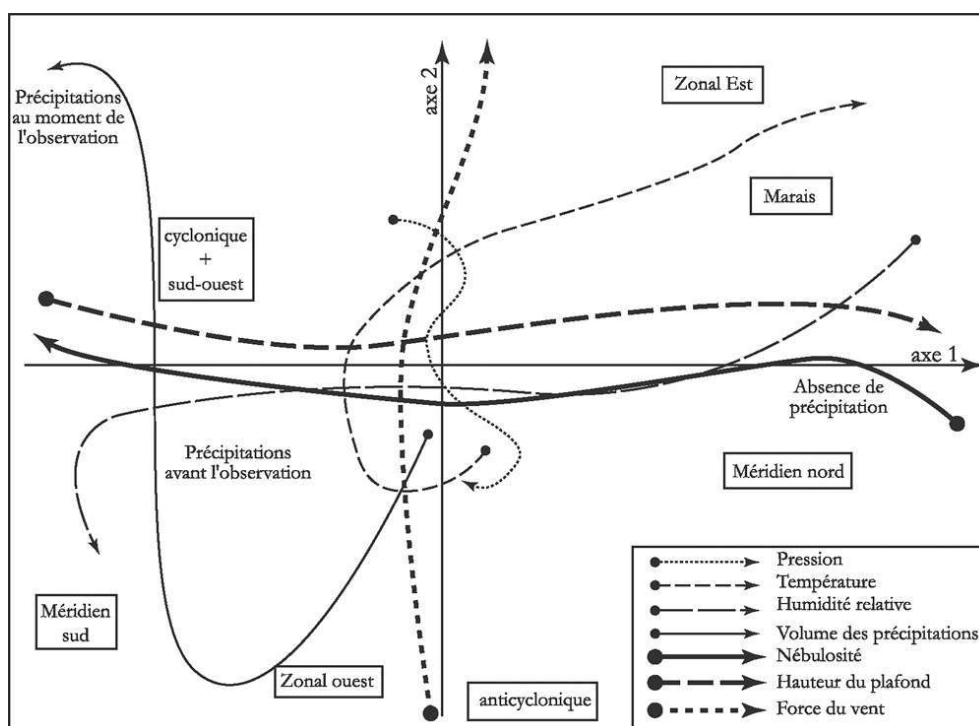


Figure 1 : Graphe factoriel (plan des axes 1 et 2) des caractères du temps qu'il fait

- 6 On se fonde ensuite sur ces variables structurantes et sur un *raisonnement déductif* pour classer les 4712 observations (figure 2). Les ACI, définies sur une base purement physiologique, résultent de la partition de l'ensemble des observations météorologiques selon 4 caractères exclusifs. Au premier niveau hiérarchique, la nébulosité segmente le corpus en quatre classes. Les bornes ont été fixées de manière à ce que la fréquence des classes soit homogène. On constate que cela a été possible avec les deux premières bornes (3 et 6 octats) qui regroupent l'une et l'autre 14% de l'échantillon. En revanche, la nébulosité de 7 octats (22%) et surtout la nébulosité totale (50%) sont tellement fréquentes qu'elles induisent la constitution de classes dont le poids est disproportionné par rapport à celui des deux précédentes.

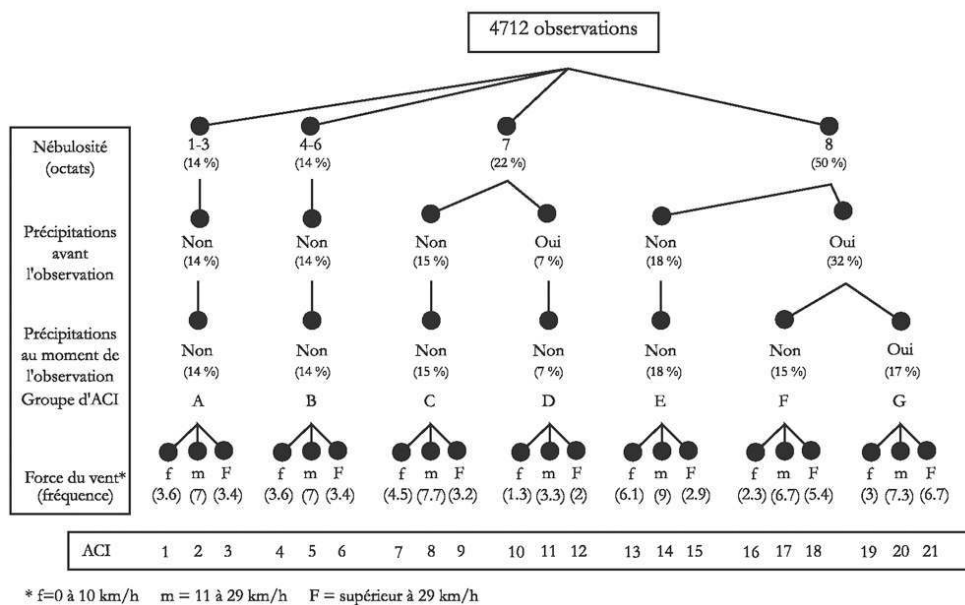


Figure 2 : classification des observations ponctuelles selon des règles déductives

- 7 Les quatre classes ainsi constituées sont, à un deuxième et un troisième niveaux hiérarchiques, décomposées à leur tour selon les précipitations. On définit 7 groupes d'ACI (de A, beau temps à G, nébulosité totale accompagnée de précipitation au moment de l'observation) qui, au quatrième niveau hiérarchique sont segmentés en trois classes, les ACI, en fonction de la force du vent (faible : < 10 km/h, moyenne : 10 à 29 km/h, élevée : > 29 km/h). Les bornes ont été choisies de manière à respecter le principe d'un équilibre entre le poids des classes créées.

Un exemple de description : les ACI du groupe A (le beau temps)

Les variables non structurantes

- 8 Les règles déductives, qui ont permis de classer le corpus initial des 4712 observations en 21 ACI, sont empruntées à 4 variables (Joly, 1989). Les autres variables prises en compte dans la description des n observations du temps permettent de décrire les ACI (tableau 1).

Ces descripteurs secondaires s'organisent d'une manière très dépendante des variables structurantes.

Tableau 1 : Moyenne des principales variables des trois ACI du groupe A (beau temps)

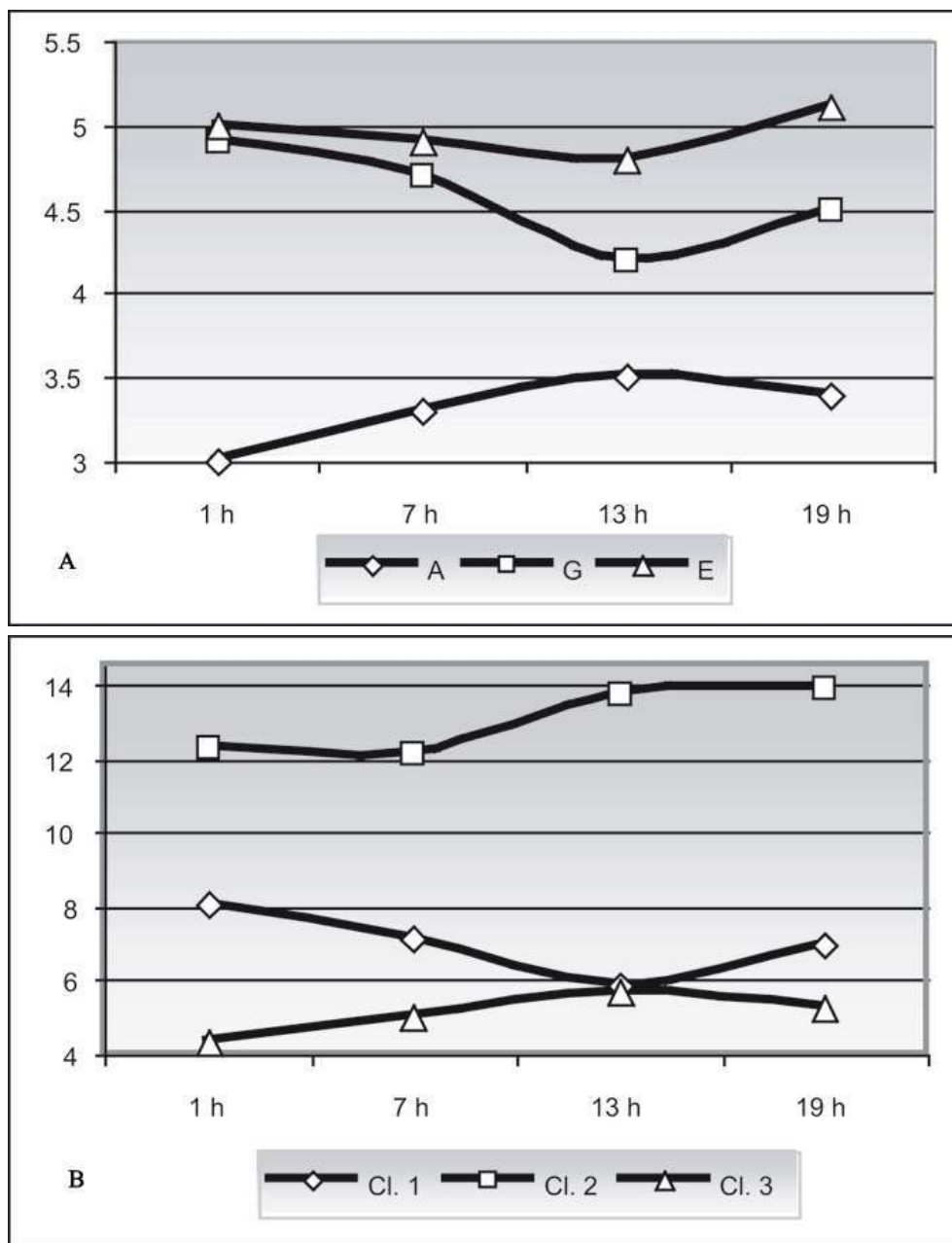
	A1	A2	A3	Groupe A	Moy. Globale
Pression (hPa)	1 016	1 014	1 007	1 013	1 011
Température (°C)	4,6	5,0	6,0	5,2	4,6
Humidité relative (%)	85	80	74	80	87
Direction du vent	SSO	SSE	E	SSE	ESE
Force du vent (Km/h)	7	20	35	20	20
Nébulosité (octa)	1.7	1.8	1.8	1.8	5.0

- 9 On constate que de l'ACI 1 à l'ACI 3 (la force du vent passe de 7 à 35 km/h), les pressions et l'humidité relative diminuent et que, parallèlement, les températures augmentent. Le vent est plutôt orienté au SSO quand le vent est faible et tourne progressivement à l'est quand il se renforce. Ainsi se dessinent des états de l'atmosphère clairement identifiés (la nébulosité est faible, il ne pleut pas) et nuancés par les autres variables descriptives :
- il fait plutôt frais quand le vent, faible, vient du sud (la mer de Barents);
 - il fait plus doux quand le vent souffle avec violence de l'est (l'intérieur de l'archipel).

Variations journalières

- 10 La figure 3A montre que la fréquence des ACI est sujette à des modifications au cours de la journée. Ainsi le mauvais temps et le temps couvert sont-ils plus fréquents au cours de la nuit que l'après-midi. Le beau temps subit une variation inverse avec une fréquence plus élevée le jour.

Figure 3 : Variation de la fréquence (%) des groupes d'ACI (A) et de la force du vent (B) au cours de la journée

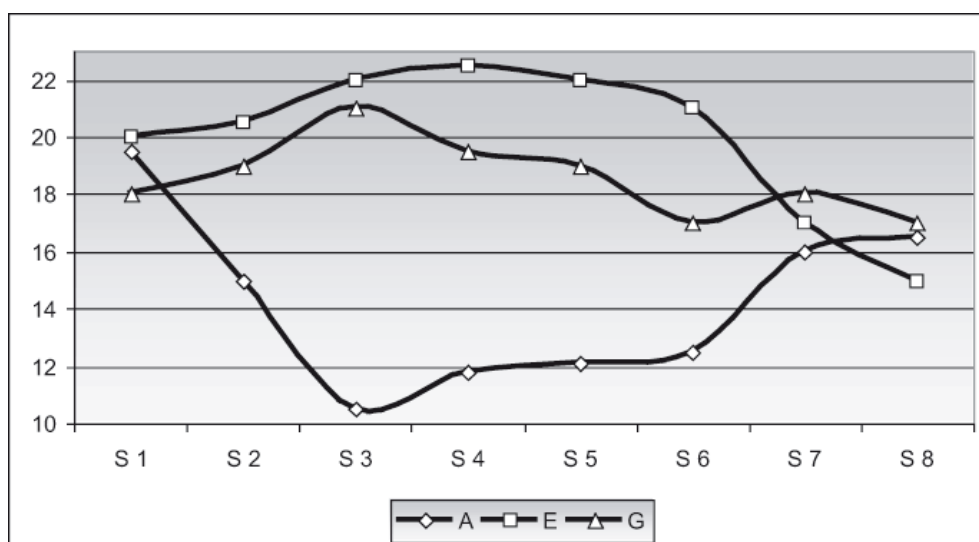


- 11 De même, le vent faible (cl. 1) est plus fréquent durant la nuit, la force du vent augmentant en cours de journée pour atteindre un maximum à 13 h (figure 3B). Cette observation est à mettre en relation avec un phénomène de brise de versant dont la puissance varie selon la nature des d'ACI: les conditions vraiment propices à son développement sont celles qui associent le beau temps et les vents faibles ; mais, dès lors que la nébulosité ou que le vent « régional » augmentent, ce processus s'effondre et n'est plus décelable qu'à de rares exceptions (Joly, 1985).

Variations saisonnières de la fréquence des ACI

- 12 L'examen de la fréquence des ACI au cours des 8 semaines prises en compte dans l'étude permet d'esquisser les tendances estivales du temps (figure 4). Le début de l'été, jusqu'à la mi-juillet, est surtout caractérisé par une fréquence élevée de beau temps associé à des vents faibles (ACI 1 et 2). Vers le cœur de l'été, le mauvais temps accompagné de vents forts et le ciel couvert sans précipitation deviennent plus fréquents. Le beau temps de type foehn apparaît aussi à ce moment de l'été. A partir de la mi-août, le beau temps redevient plus fréquent. On en conclura que les touristes avisés éviteront de visiter le Spitsberg de la mi-juillet à la mi-août ...

Figure 4 : Variation de la fréquence (%) des groupes d'ACI au cours de l'été.



La structure des ACI

- 13 La définition que M. Sorre (1961) donne du climat « *ambiance constituée par la série des états de l'atmosphère au-dessus d'un lieu dans leur succession habituelle* » se subdivise en deux parties. La première partie a été développée précédemment ; il nous reste à envisager la seconde, à savoir la succession des ACI.

La durée des ACI

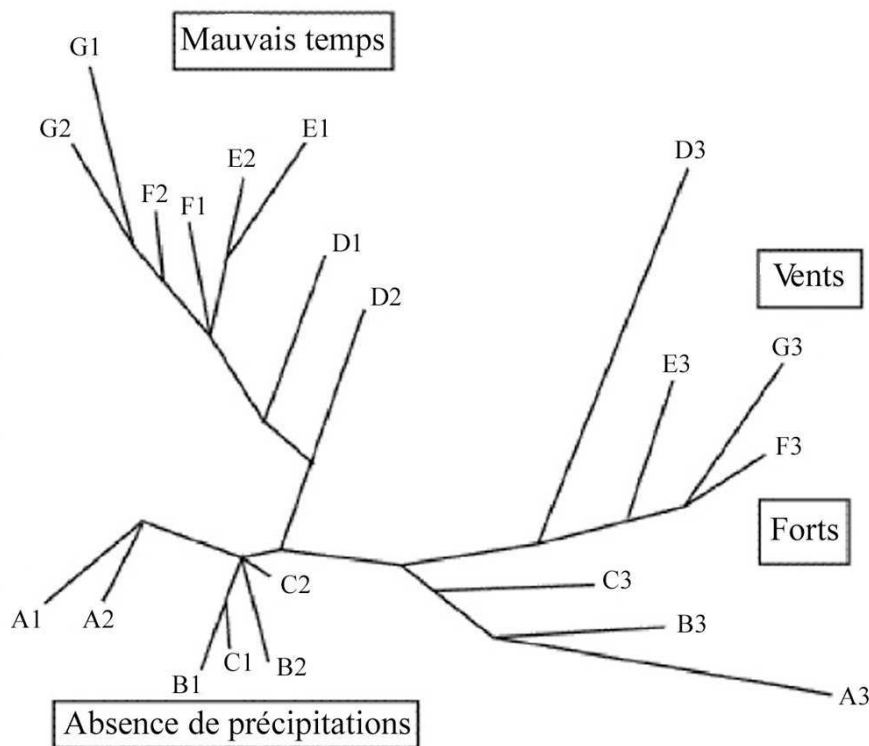
- 14 Puisque chaque observation est représentative d'une période de 6 h, on admet que toute ACI, attachée à une observation particulière, dure 6 heures ; si deux ACI successives appartiennent au même type, on est en présence d'une séquence de 12 heures, et ainsi de suite. Cela nous permet d'envisager une analyse fine concernant le degré de persistance ou au contraire d'instabilité propre à chaque ACI (figure 5). Les ACI des groupes A (beau temps), E (temps de stratus bas) et G (mauvais temps) durent longtemps, en moyenne plus de 9 h. A l'opposé, les ACI des groupes C et D (nébulosités intermédiaires) durent peu (moins de 7 h). Le vent faible dure en règle générale moins que le vent fort.

Figure 5 : Durée (heures) des groupes d'ACI (A= beau temps ; E=temps couvert ; G=mauvais temps).

Les liaisons des ACI

- 15 La problématique est de voir si l'enchaînement des ACI s'effectue de manière incohérente et aléatoire ou si, au contraire, il y a, dans leur succession, une structure décelable (telle ACI évolue plus fréquemment vers telle autre). Trois problèmes se posent :
- l'évolution du temps est-elle symétrique ? Soit une ACI quelconque ; est-ce que, statistiquement, les ACI observées 6 h avant qu'elle ne s'établisse (liaisons antérieures) sont identiques à celles qui sont observées 6 h plus tard (liaisons postérieures).
 - Un autre point intéressant est de savoir comment les liaisons entre ACI se modifient à mesure que l'intervalle qui sépare les observations augmente (liaisons à 6 h, 12 h, 24 h, ..., d'intervalle). Connaissant deux ACI qui évoluent fréquemment l'une vers l'autre à intervalle de 6 h, il est intéressant de voir à partir de quel seuil cette relation privilégiée commence à se dégrader, puis disparaît.

Figure 6 : Liaisons postérieures des ACI à 6 heures d'intervalle.



- 16 Une méthode de classification parfaitement adaptée à ce problème a été développée (Joly et Luong, 1986). Le résultat prend la forme d'un arbre dont les branches, regroupant les ACI qui évoluent souvent l'une vers l'autre, rayonnent à partir du centre. La longueur des vecteurs qui séparent deux ACI rend compte de la fréquence des liaisons statistiques entre elles. Ainsi, les ACI G3 et F3, disposées sur le même nœud et séparées par des vecteurs courts, évoluent souvent, 6 heures plus tard, l'une vers l'autre; ce qui n'est pas le cas des ACI A1 et G3 qui ne se succèdent jamais (figure 6). L'arbre distingue les 5 familles de liaisons préférentielles suivantes :
- ACI A et B associées à un vent faible à modéré,

- ACI A, B et C associées à un vent fort,
 - ACI E et C associées à un vent faible à modéré,
 - ACI D, F et G associées à un vent faible à modéré,
 - ACI E, F et G associées à un vent fort.
- 17 Les liaisons, à intervalle de temps plus long, se dégradent de manière telle, qu'à plus d'une journée d'écart, n'importe quelle ACI évolue vers n'importe qu'elle autre : il n'y a plus, alors, de sens statistique décelable et l'arbre qui visualise les liaisons est très réduit avec des branches qui toutes rayonnent à partir du centre.

Les combinaisons d'ACI

Tableau 2 : Composition et fréquence des 15 types d'ACJ

	N° s	Extrêmes imposés	Intermédiaires possibles	Fréquence (%)
Amplitude nulle	1	A	-	3,5
	2	E	-	2,5
	3	G	-	1,8
Amplitude faible (2 groupes)	4	AB	-	5,2
	5	BC	-	6,3
	6	CE	-	4,1
	7	EF	-	2,0
	8	FG	-	5,8
Amplitude moyenne (3 ou 4 groupes)	9	AC	B	9,6
	10	BE	C	4,8
	11	EG	F	8,7
	12	AE	BC	6,4
	13	CG	DEF	17,0
Amplitude forte (plus de 5 groupes)	14	BG	CDEF	15,3
	15	AG	BCDEF	7,0

- 18 La durée et les liaisons montrent que les ACI tendent à s'organiser, sur des périodes plus ou moins longues, en familles de temps. Une ambiance climatique journalière (ACJ) correspond ainsi à l'association de 4 ACI successives homogènes. Avec les périodes de temps, nous retrouvons une échelle comparable à celle des types de circulation.

Les ACJ

- 19 Les ACJ, au nombre de 15, sont définies sur la base de la qualité du temps et sur l'homogénéité des 4 ACI qui les composent (tableau 2). Le temps homogène (beau temps, temps de stratus, mauvais temps, ACJ 1 à 3) s'oppose au temps très instable (passage au cours de la journée d'un beau temps à la pluie, ACJ 14 et 15).

Les périodes de temps

- 20 Les périodes de temps sont des combinaisons, sur une durée variable, d'ACJ homogènes. On distingue 5 types de périodes de temps :
- le beau temps homogène est constitué de la seule ACJ 1 ;
 - le temps passable associe les ACJ 4, 5 et 9 (la nébulosité n'est jamais totale ; absence de précipitation) ;

- le temps médiocre associe les ACJ 2, 6, 10 et 12 (la nébulosité n'est jamais inférieure à 4 octats ; absence de précipitations) ;
 - le mauvais temps instable associe les ACJ 13, 14 et 15 (le temps passe du beau ou du passable au mauvais) ;
 - le mauvais temps homogène associe les ACJ 3, 8 et 11 (la nébulosité est totale, les précipitations sont très fréquentes).
- 21 La durée des périodes de temps les rend compatibles avec la notion de type de temps. Pourtant, l'une n'est pas réductible à l'autre (Joly, 1987). En effet, le type de temps anticyclonique entraîne toute la gamme possible des ACJ, du beau temps (30 %) au mauvais temps instable (20 %), en passant par les temps passables (25 %), médiocres (15 %) ou mauvais homogènes (10 %). Inversement, le beau temps est dû à une situation anticyclonique dans 20 % des cas ; le reste étant le fait de situations méridiennes de nord ou zonales d'est.

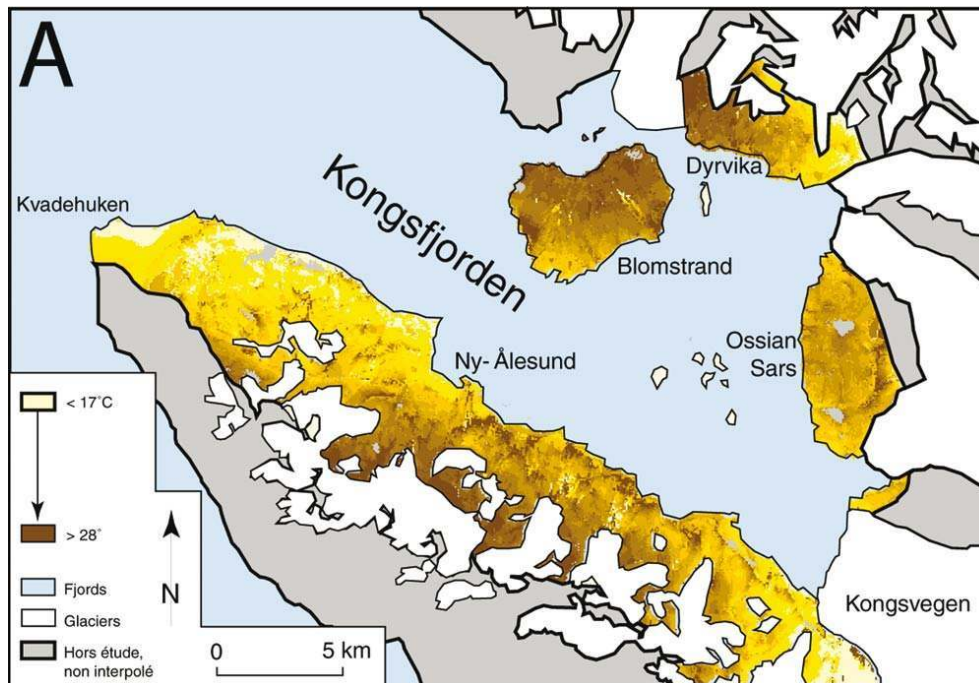
Les ACI appliquées aux échelles fines

- 22 Mes recherches dans le domaine de la microclimatologie au Spitsberg sont menées en collaboration avec des botanistes qui étudient l'adaptation des plantes aux conditions climatiques à grande échelle (Brossard *et al.*, 2002). En effet, l'analyse fine de la distribution des plantes aujourd'hui nous permet de connaître tout à la fois les conditions limites qu'elles peuvent supporter et celles qui président à leur épanouissement optimal. Le Spitsberg offre un terrain d'étude remarquable pour de telles études. La température y est l'un des principaux éléments du climat qui détermine la répartition spatiale des plantes. Dans le but de restituer les champs thermiques, nous avons mis au point une méthode de modélisation spatiale des températures à grande échelle utilisant les ressources de l'analyse spatiale et d'un système d'information géographique (SIG).
- 23 Les variations spatiales de la température à échelle fine dépendent étroitement des caractéristiques physico-géographiques de la surface du sol et des conditions atmosphériques qui seules nous intéressent dans le cadre de cette présentation. Deux niveaux d'échelle seront successivement abordés : les variations spatiales de la température sur le Kongsfjorden et aux alentours de la base française « Corbel ».

Variation de la température à échelle régionale par beau et mauvais temps

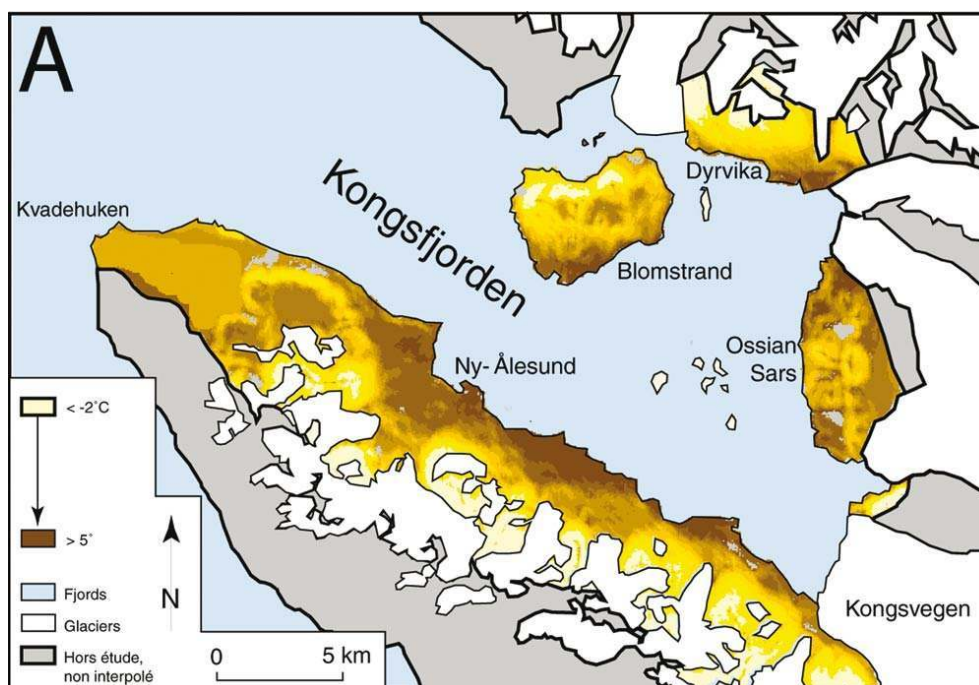
- 24 L'aire d'étude est située dans la région du Kongsfjord (nord-ouest du Spitsberg). Son intérêt réside dans le fait qu'elle présente un fort gradient thermique ouest-est : l'influence froide de la mer diminue progressivement à mesure que l'on s'approche du fond du fjord. Mais dans le détail, il convient de nuancer ce modèle en intégrant le rôle joué par l'altitude, la topographie contrastée et la présence des glaciers.

Figure 7 : Les températures par beau temps (maximum du 18 juillet 1999)



- 25 Nous disposons, sur l'ensemble de la zone, de données satellitaires et d'un MNT. De ce dernier sont tirées un grand nombre de données dérivées tels que la pente et l'exposition, le rayonnement global théorique et les formes du relief (thalwegs, crêtes, longueur des versants, etc.). L'ensemble de ces données sont archivées dans un SIG sous la forme de couches d'information et servent de support à la modélisation spatiale des plantes (Brossard et Joly, 1994 ; Brossard *et al.*, 1999A ; Brossard *et al.*, 1999B). Ces données interviennent aussi comme variables explicatives de la distribution spatiale des températures : elles sont testées en tant que variables explicatives de la variation spatiale de la température (Fury et Joly ; 1995, Brossard *et al.*, 2003 ; Joly *et al.*, 2002, Joly *et al.*, 2003). De ce fait, elles sont considérées comme explicatives au sens statistique du terme et non au sens physique. Les températures ont été recueillies en 40 postes climatologiques du 14 juillet au 8 août 1999. Les résultats des analyses statistiques sont utilisés pour procéder à l'interpolation des températures en tout point de l'aire d'étude digitalisée à la résolution de 50 m. Deux exemples opposés sont présentés.

Figure 8 : Les températures par mauvais temps (maximum du 30 juillet 1999)

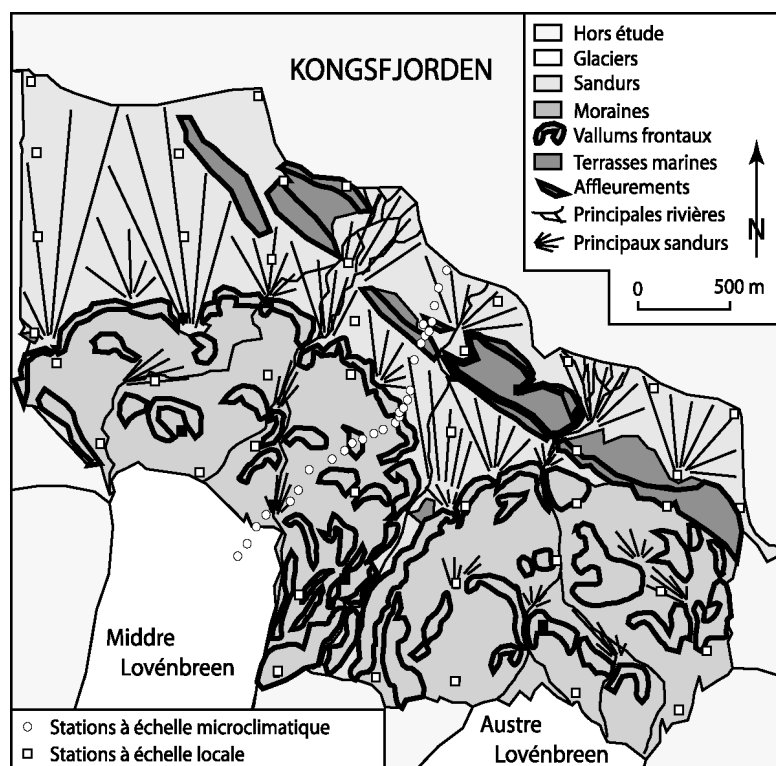


- 26 La température par beau temps (ACJ 1) montre que les sites les plus chauds se situent au cœur des massifs montagneux : nous assistons à une puissante inversion thermique (figure 7). Le gradient est de l'ordre de $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ entre les sites proches du fjord et les crêtes situés à 1000 m. Les valeurs les plus importantes se localisent sur les versants réglés exposés au sud, vers 500 m d'altitude : on atteint là les 30°C ! Au-dessus, les températures décroissent régulièrement même si le contexte topographique reste favorable. D'autres sites présentent eux aussi des températures élevées. Il s'agit de petits secteurs localisés sur le strandflat en situation d'abri. Les températures les plus basses affectent la plupart des zones situées en bordure du fjord ainsi que l'extrémité ouest de la presqu'île de Brøgger (Kvadehuk Sletta), là où l'influence de la mer du Groenland est maximale. Cet effet est renforcé à proximité des glaciers où des valeurs inférieures à 15°C sont rencontrées.
- 27 Des écarts encore plus importants peuvent survenir lors de l'ACJ 2 : sur le strandflat, le ciel est couvert de bas stratus pelliculaires et la température est voisine de 5°C . En revanche, dès 300 m d'altitude, le beau temps entraîne des conditions radiatives qui favorisent un intense réchauffement des versants.
- 28 La température par mauvais temps (ACJ 3), diminue avec l'altitude selon un gradient de $0.8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (figure 8). Il gèle au-dessus de 200 m d'altitude tandis que, à proximité de la mer, la température est nettement plus douce. Du NO au SE, la température croît de 2 à 3°C environ : on passe de 2°C à l'ouest à un peu plus de 4°C , voire 5°C localement à l'est. Ce gradient relatif est un effet lié à la continentalité.
- 29 Les conditions pour la croissance optimale des plantes ne se rencontrent pas en montagne même si, par beau temps, des températures très élevées y apparaissent occasionnellement ; les températures inférieures à zéro sont la règle dès l'altitude de 200-300 m aussitôt que les nuages apparaissent. Les niches situées sur le strandflat à basse altitude conjuguent température élevée par beau temps et température douce par

mauvais temps. C'est d'ailleurs là que l'on rencontre les associations végétales thermophyles.

Variation de la température aux alentours de la base « Corbel »

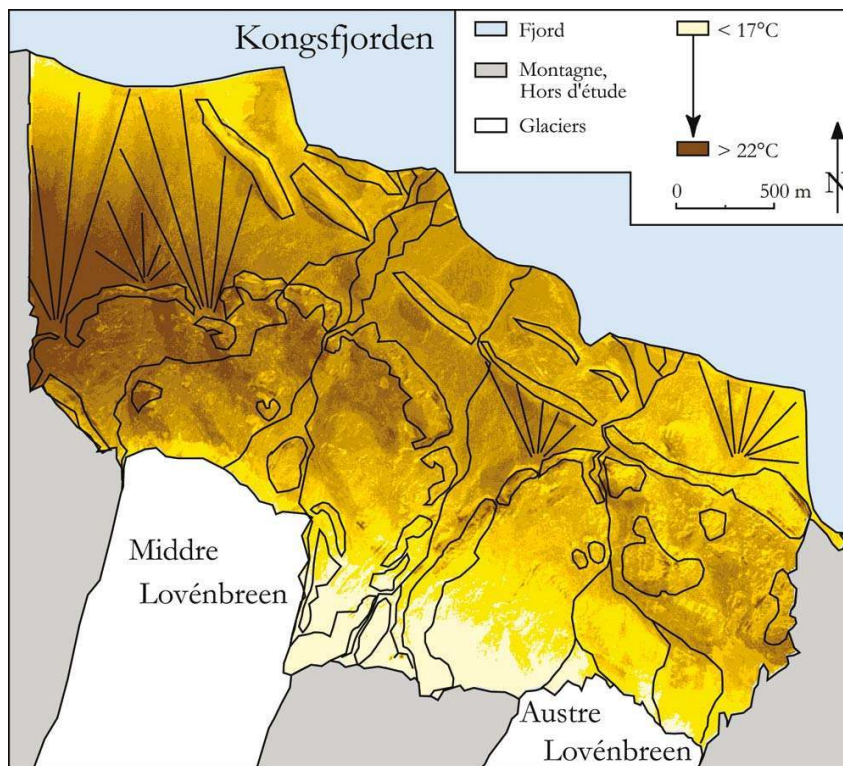
Figure 9 : aire d'étude et localisation des stations à échelles locale et micro climatique



Aire d'étude et dispositif d'observation

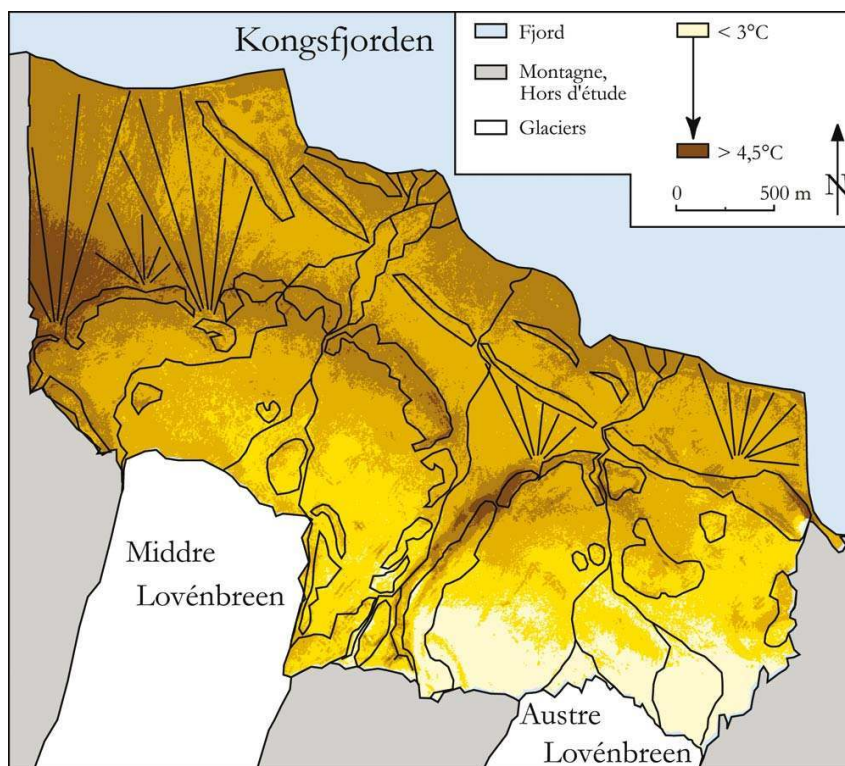
- 30 L'aire d'étude est localisée à proximité du village de Ny-Ålesund, dans la région du Kongsfjord (Spitsberg du Nord-Ouest), sur un strandflat, à l'aval de deux glaciers de type alpin. Entre le front des glaciers et le vallum frontal qui marque leur extension maximale à la fin du XIX^e siècle, s'établit une aire intra-morainique chaotique composée de collines escarpées, de cuvettes de fonte de culots de glace et de chenaux où transitent les eaux proglaciaires. La végétation a colonisé ces espaces vierges et se présente sous la forme d'un piquetis de plus en plus clairsemé à mesure que l'on se rapproche des aires récemment déglacées situées au front des glaciers. Au nord du vallum, de vastes sandurs peu inclinés et lisses sont constitués de matériel détritique apporté par les torrents issus des glaciers. Ils festonnent la ligne côtière d'une série de cônes coalescents. Les sandurs sont entrecoupés de lambeaux de plages soulevées qui, calés derrière des affleurements rocheux, sont recouverts d'une toundra climacique.

Figure 10 : Les températures par beau temps (maximum du 18 juillet 1999)



- 31 En 1999, 50 capteurs de température ont été installés à 10 cm au-dessus du sol (figure 9). Le matériel, de type « Hobo », est équipé d'une sonde extérieure protégée par un abri permettant une bonne ventilation. Les stations ont été localisées de telle manière que l'espace soit couvert selon les normes de l'échantillonnage statistique car la valeur des modèles dépend d'abord de la localisation des capteurs (Joly *et al.*, 1999). L'ensemble du réseau a fourni des températures exploitables entre le 12 juillet et le 8 août 1999 à raison d'une mesure toutes les 6 minutes.

Figure 11 : Les températures par mauvais temps (maximum du 30 juillet 1999)



- 32 Les cartes de la moyenne des maxima par beau temps (figure 10) et mauvais temps (figure 11) montrent que les sites les plus chauds se situent au cœur du strandflat et notamment à l'ouest, à l'abri des vents froids issus du fjord et des glaciers (Joly, 1982B). Des petits secteurs chauds se développent entre les rides et collines morainiques, en exposition sud et sud-ouest. Les secteurs froids se situent au nord de l'aire d'étude, le long de la frange littorale, au front du glacier Austre Lovén et au sommet des puissantes moraines qui séparent les deux glaciers.

Modélisation des variations thermiques à échelle microclimatique

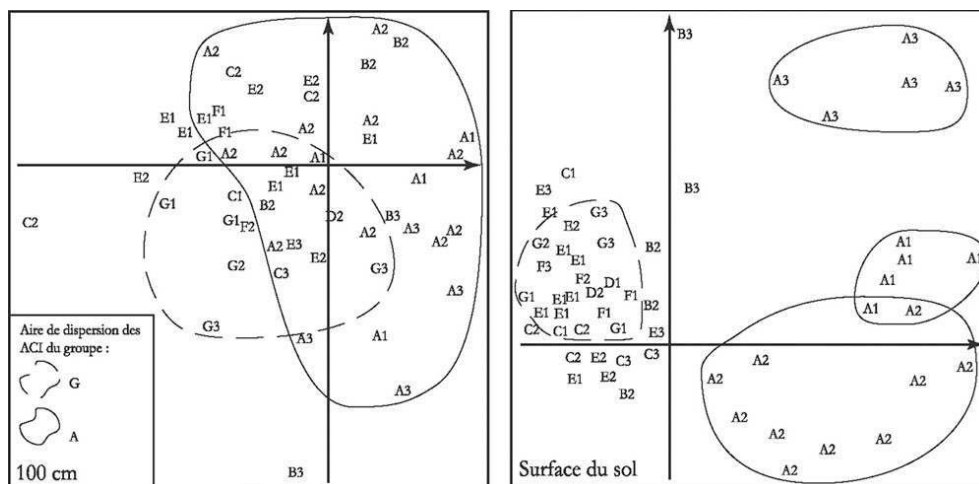
Aire d'étude et dispositif d'observation

- 33 Le dispositif d'étude microclimatique se situe sur le strandflat proche de la base Corbel (figure 9). Il s'agit d'un transect de 2000 m environ, étendu entre le fjord et un glacier. Il recoupe perpendiculairement les principales ruptures topographiques (barre calcaire, vallums morainiques) et milieux (sandur, toundra, glacier). L'échantillonnage, régulier sur les milieux homogènes, a dû être considérablement réduit lors du recoupement des rides topographiques ou lors du passage d'un milieu à l'autre. Chaque station est pourvue de 5 thermomètres à lecture directe disposés à 100, 20, 10, 5 et 0 cm au-dessus de la surface du sol. L'observation des températures a été effectuée deux fois par jour (7 h et 15 h) du 3 juillet au 24 août 1985. Un tableau de températures est constitué avec, en lignes, les jours auxquels sont attachés des ACI (le temps qu'il fait au moment de l'observation) et, en colonnes, les stations.

Comportements thermiques selon les ACI

- 34 Une AFC pour chacun des cinq niveaux permet de visualiser l'aire de dispersion des stations (caractères du tableau) et des jours d'observation (individus, ACI). En fait, seuls les graphes de 1 m et de la surface du sol ont été reproduits ici (figure 12).

Figure 12 : Graphe des plans 1/2 ; distribution factorielle des ACI à 1 m et à la surface du sol ; observations de 7 h



Les comportements thermiques à 1 m au-dessus de la surface du sol

Influence de la nébulosité (groupes d'ACI)

- 35 Les cinq graphes successifs donnent la possibilité d'examiner comment la structure factorielle des comportements thermiques imposés par les ACI à mesure que l'on se rapproche de la surface du sol. A 1 m, la structure factorielle est assez confuse. Les jours appartenant à une même ACI s'éparpillent sur le graphe à l'intérieur d'une aire très vaste. Dans la mesure où les individus se positionnent sur le graphe en fonction du comportement thermique observé aux stations d'observation, cela signifie qu'une même ACI entraîne des comportements thermiques fort variés, hétérogènes.
- 36 Cette constatation doit être nuancée. En effet, les ACI relatives à un temps nébuleux et pluvieux (D, E, F/G) se dispersent moins que les ACI de beau temps (A) ou de temps passable (B et C). Les premières se concentrent plus autour d'un bloc homogène que les secondes qui occupent presque tous les secteurs du graphe. Les comportements thermiques induits par les ACI D, E, F et G sont plus homogènes, moins différenciés que ceux des ACI B et A.

Influence de la force du vent (ACI)

- 37 On constate aussi que le barycentre des ACI se dispose de plus en plus à gauche à mesure que la nébulosité augmente. Cela montre que, en première analyse, deux comportements thermiques s'opposent : ceux qui, imposés par le temps médiocre et le mauvais temps, sont globalement semblables et peu diversifiés et ceux qui, imposés par le beau temps, sont au contraire très hétérogènes. Cela ne se vérifie plus dès lors que l'on se place à un niveau d'analyse plus fin en observant l'influence de la force du vent sur la dispersion des

ACI des groupes A et B. Les individus appartenant au groupe A (beau temps) se dispersent sur une grande partie du graphe ; mais si l'on parle d'ACI en décomposant ce groupe en ses trois modalités de vent (1=vent faible, 2=vent moyen et 3=vent fort), alors la situation se clarifie : les individus appartenant à l'ACI A1 se concentrent au milieu du graphe, vers l'extrémité de l'axe ; les aires de dispersion des individus appartenant aux ACI A2 et A3 s'opposent sur l'axe 2 en se localisant vers les angles haut-droit (A2) et bas-droit (A3) du graphe. Les mêmes tendances affectent les individus du groupe B.

Hypothèses

38 Tout le problème se pose donc d'identifier ce processus qui agit :

- uniquement par beau temps et temps passable,
- à partir du seuil de 3°C, et entraîne des modifications sur le comportement thermique des stations selon que la force du vent est comprise entre 10 et 30 km/h ou dépasse ce dernier seuil.
- Hypothèse 1. Le renforcement du vent se traduit par deux influences principales : une turbulence dans les basses couches de l'atmosphère et une advection, sur le strandflat, d'un air en provenance du fjord ou du glacier. Un vent de force moyenne (10 à 30 km/h) n'est pas assez puissant pour permettre l'advection des micro-masses d'air exogène sur l'ensemble du strandflat. En revanche, la turbulence est suffisante pour permettre un brassage de l'air, ce qui induit une certaine uniformisation des comportements thermiques endogènes. Quand le vent souffle plus fort, les advections affectent l'ensemble du strandflat et le comportement thermique est lié aux masses d'air exogènes. Dès que le vent dépasse 10 km/h, les deux structures d'échelles supérieures (locale puis régionale) se manifestent et s'opposent l'une à l'autre. Avec les temps nébuleux et pluvieux, l'air est globalement homogène : il n'y a pas de différence fondamentale entre l'air indigène, généré localement sur le strandflat, et l'air issu de l'extérieur. Dans ces conditions, que le vent souffle fort ou non, il n'y a pas de différence capitale dans le comportement thermique et les individus concernés ne s'écartent guère du milieu du graphe. Il en va de même avec le beau temps calme où la structure d'échelle microlocale s'impose jusqu'à 1 m de haut.
- L'hypothèse 2 se base sur le parcours factoriel de N jours qui appartiennent à la même séquence de beau temps (figure 7). Cinq séquences de beau temps d'une durée d'au moins 2 jours sont exploitables. Si la position occupée sur le graphe par chacun des jours qui composent chaque séquence est jointe par un vecteur, c'est l'évolution factorielle, du début (rond noir) à la fin (flèche) de chaque séquence, qui est visualisée (figure 13). Seules les périodes de beau temps permettent une telle expérience car les autres ont été insuffisamment durables en 1985. Le parcours des séquences sur le graphe est explicite : le début des séquences se disperse largement au travers de la moitié droite du graphe. Cela indique que, au début des séquences de beau temps, les comportements thermiques sont hétérogènes. Mais, 3 jours plus tard, la situation a évolué dans le sens d'un rapprochement : hormis la séquence qui débute le 13-7 (insuffisamment longue), toutes les séquences se terminent dans un mouchoir, vers l'extrémité de l'axe 1, au milieu de l'axe 2. Quelques jours de beau temps ont suffi pour que les comportements thermiques, au départ hétérogènes, soient uniformisés.

Synthèse

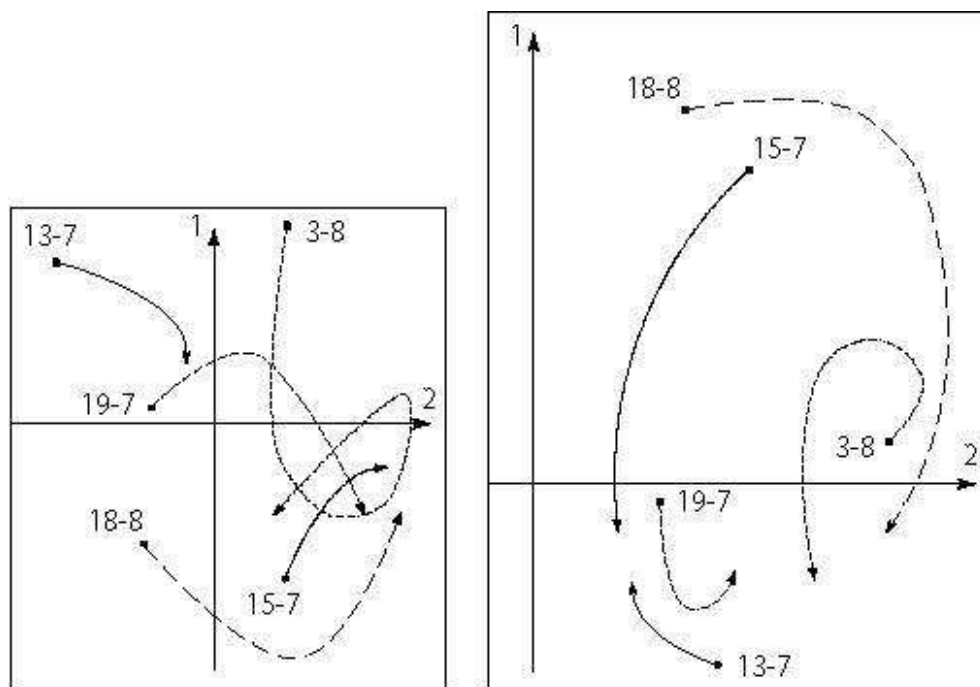
39 Les deux hypothèses que l'on voit de développer peuvent se fonder en une synthèse plus générale. Au cours de la journée qui précède une séquence de beau temps, le temps est

divers : il peut être passable, médiocre, mauvais. Les comportements thermiques associés à ces ambiances climatiques sont hétérogènes : les observations concernées tendent à se regrouper à gauche et en haut du graphe. Quand le beau temps arrive, la durée est trop courte pour que la mémoire de ces comportements ait disparu : un phénomène d'inertie existe qui tend à prolonger un effet au-delà de la cessation de l'action qui l'a créé. Le comportement thermique du premier jour de beau temps est donc la résultante de ces conditions :

- de mauvais temps ou de temps médiocre qui ont eu lieu les jours précédents et qui expliquent pourquoi l'origine des séquences est attirée vers la gauche du graphe ;
- de beau temps qui se produisent au moment de l'observation et qui, elles, seraient plutôt un facteur d'homogénéisation. Mais, du fait que cette influence agit depuis trop peu longtemps son influence reste modeste.

40 Ainsi, les individus, selon la force momentanée du vent, se répartissent soit vers l'extrémité, soit vers le centre, soit encore vers l'origine de l'axe 2 (hypothèse 1). A mesure que le temps s'écoule, l'action induite par le beau temps sur le sol (échauffement par rayonnement direct) se développe, intensifie ses effets de sorte que, par inertie, les comportements thermiques tendent à se ressembler de plus en plus. L'effet microlocal joue à fond et devient tel qu'il est à même d'opposer une barrière efficace aux influences issues de l'extérieur du strandflat. Même si le vent reste soutenu, les structures thermiques données à l'échelle microlocale deviennent prédominantes et identiques en cela à celles qui existent par vent de force faible (hypothèse 2).

Figure 13 : Parcours factoriel des N jours appartenant à chacune des 5 séquences de beau temps sur le graphe de 7 h, au niveau de 1 m (A) et à la surface du sol (B)



41 L'observation qui suit chacune des séquences de beau temps est « tirée » par la droite du graphe. L'inertie agit mais cette fois-ci, dans le sens contraire, même si le temps est mauvais. Après une séquence de beau temps, les comportements thermiques ne correspondront franchement à ceux de l'ambiance climatique en cours qu'après au moins

un jour, quand l'influence laissée par le beau temps aura disparu. C'est ce qui explique que les individus appartenant aux ACI D, E, F/G soient, eux aussi dans une certaine mesure, quelque peu dispersés.

Les comportements thermiques à la surface du sol

- 42 On retrouve les mêmes thèmes d'interprétation des axes jusqu'au niveau de 5 cm malgré une évolution sensible des graphes. Ils assurent la transition entre les deux niveaux extrêmes.
- 43 Sur le graphe du niveau inférieur (surface du sol), l'aire de dispersion est très limitée, aussi bien pour les groupes d'ACI C, D, E, F/G, que pour les groupes A et B, contrairement à la situation décrite précédemment. De plus, les nuages-ACI se localisent de plus en plus à droite à mesure que les précipitations sont moins prégnantes et que la nébulosité diminue. Cela signifie que, à la surface du sol, les stimulations induites par une ACI particulière entraînent une réaction spécifique et ciblée : les comportements thermiques sont homogènes dans le cadre de chaque ACI. Par ailleurs, si les nuages-ACI se recouvrent moins qu'ils ne le faisaient à 1 m, c'est que les comportements thermiques sont dorénavant plus contrastés d'une ACI à l'autre. Comportements thermiques contrastés inter-ACI, et homogènes inter-ACI, tels sont donc les mots-clés de l'interprétation du graphe de la surface du sol.
- 44 On retrouve ici aussi la spécialisation des comportements selon la force du vent. De même, les parcours factoriels de N jours appartenant à la même séquence de beau temps sont cohérents. A la grande dispersion des origines, s'oppose le rassemblement de la fin des séquences à l'intérieur d'une aire de surface réduite.

Conclusion

- 45 Les ACI décrivent le temps qu'il fait au-dessus d'un lieu. La spatialisation des ACI n'a pas été envisagée. Une comparaison entre la fréquence des ACI montre une évidente parenté entre deux stations du Spitsberg distantes de 100 km (Isfjord Radio et Ny-Aalesund). Toutefois, les bornes qui segmentent les groupes d'ACI en trois ACI en fonction de la force du vent ne sont pas adaptées à la station de Ny-Ålesund moins venteuse qu'Isfjord. Appliquée aux climats des latitudes tempérées, il faudrait sans doute aménager la classification en raison du cycle diurne qui introduirait un biais dans certains éléments du climat.
- 46 Il reste que l'ACI est parfaitement adaptée à la microclimatologie. Les variations spatiales de la température sont en effet étroitement commandées par la nébulosité, le vent et les précipitations, trois paramètres structurants du climat local. De ce point de vue, ce qui est vrai au Spitsberg, l'est aussi aux autres latitudes et c'est en ce sens que le recours aux ACI pourrait apporter une unité méthodologique des différentes études à échelles fines.

BIBLIOGRAPHIE

- BROSSARD T., JOLY D., NILSEN L., 1999A. « Mapping plant communities in a local arctic landscape applying scanned infrared aerial photo and digital elevation model in a geographical information system ». *International Journal of Remote Sensing*, 1999, vol. 20, n° 2, 463-480.
- BROSSARD T., ELVEBAKK A., JOLY D., NILSEN L., 1999B. « Monitoring and mapping of arctic vegetation ; Evaluating a method coupling numerical classification of vegetation data with SPOT satellite data in a probability model ». *International Journal of Remote Sensing*, 1999, vol.20, n° 15 - 16, 2947-2977.
- BROSSARD T., ELVEBAKK A., JOLY D., NILSEN L., 2002. « Modelling Index of Thermophily by means of a multi-sources data base on Brøggerhalvoya Peninsula (Svalbard) ». *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23, n° 21, pp. 4683-4698.
- BROSSARD T., FURY R., JOLY D., NILSEN L., 2003. « Spatial interpolation of temperature by coupling DEM and Remote Sensed Data; example taken on the forefield of the Loven Glaciers, Svalbard. » Accepté, à paraître dans *International Journal of Climatology*.
- BROSSARD T., JOLY D., 1994. « Probability models, remote sensing and field observation : test for mapping some plant distributions in Kongsfjord area (Svalbard). » *Polar Research* n°13, Oslo ; pp.153-161.
- FURY R., JOLY D., 1995. « Présentation d'une méthode pour l'interpolation à maille fine (100 m) des températures journalières. » *La Météorologie*, 8^{ième} Série, n°11, pp. 36-43.
- JOLY D., 1982A. « Les types de temps à Isfjord Radio. » *Inter-Nord*, n°16, pp. 99-109.
- JOLY D., 1982B. « Influence du Kongsfjord sur les températures maximales observées aux alentours de la Base Française du C.N.R.S. au Spitsberg. » Colloque Océanographie-Climatologie, Marseille, Mai 1982 ; *Noröis*, n°16, pp.615-627.
- JOLY D., 1985. « Etude de la variation journalière de six variables météorologiques dans le cadre de quelques Ambiances Climatiques. » *Physio-GEO*, n°2, pp. 3-9.
- JOLY D., 1987. « Le "paysage climatique" : pour une formulation systémique du climat. » *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, n°2, pp. 175-184.
- JOLY D., N.X. LUONG, 1986. « Etude de la succession des types de temps fondée sur un nouvel algorithme de représentation arborée. » 25^e Congrès International de Géographie, Actes du Symposium « Analyse de Système et Modèles Mathématiques », [Besançon, août 1984 ; *Cahiers de Géographie de Besançon*, n°28, pp. 317-322].
- JOLY D., 1989. « Etude de l'ACI A01 : le beau temps calme. 13^e Colloque sur l'analyse des données en géographie, Besançon, oct. 1983 » ; *Séminaires et notes de recherches n°29 des Cahiers de Géographie de Besançon*, pp. 161-178.
- JOLY D., 1994. « Ambiances climatiques instantanées au Spitsberg ; pour une approche méthodique par niveau d'échelle. » *Annales Littéraires de l'Université de Franche-Comté*, n°529, Diffusion Les Belles Lettres, Paris, 404 p.
- JOLY D., BROSSARD T., DUPONT G., ELVEBAKK A., FURY R., NILSEN L., 1999. « Localisation optimale de capteurs en vue de la modélisation des températures sur le piémont de deux glaciers au Spitsberg. » *Publication de l'Association Internationale de Climatologie*, vol. 12, pp. 460-467

JOLY D., BROSSARD T., ELVEBAKK A., FURY R., NILSEN L., 2002. « Présentation d'un SIG pour l'interpolation de températures à grande échelle ; application au piémont de deux glaciers (Spitsberg). » *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, n°14, pp. 287-295.

JOLY D., NILSEN L., FURY R., ELVEBAKK A., BROSSARD T., 2003. « Temperature interpolation at large scale; test on a small area on Svalbard. » *International Journal of Climatology*, vol. 23, issue 13, 18 p. sous presse.

RÉSUMÉS

La méthode fondée sur le recours aux ambiances climatiques instantanées (ACI) a été mise au point pour analyser le climat d'un site tant d'un point de vue temporel que spatial. A Isfjord Radio, station norvégienne du haut Arctique (Spitsberg) où la méthode a été testée, le temps est observé à intervalle régulier de 6 h. Une classification de ce corpus sur la base de quatre descripteurs structurants (nébulosité, force du vent, présence de précipitations au moment et au cours du laps de 6 h précédent le moment où l'observation du temps) est effectuée : les classes obtenues sont les ACI. Ces dernières correspondent donc aux unités élémentaires du « temps qu'il fait à un moment précis et en un lieu donné ». Ce corpus de données autorise de nombreuses statistiques qui permettent d'abord de décrire les ACI et ensuite de porter un regard sur la dynamique temporelle des ACI (fréquence, durée, liaisons d'une ACI à l'autre, associations d'ACI, ...). La méthode est ensuite appliquée pour expliquer la variation spatiale des températures. On établit des modèles de variation à différentes échelles et pour différentes conditions climatiques. On constate ainsi que les trois paramètres clef de la variation des températures contribuent aussi à la définition des ACI :

- la nébulosité qui contrôle l'entrée et les déperditions d'énergie dans le système,
- la force du vent qui accélère la turbulence dans les basses couches et tend à réduire les écarts thermiques d'un lieu à l'autre,
- les précipitations.

Le recours aux ACI s'avère ainsi fort utile en climatologie des grandes échelles (microclimatologie, topoclimatologie, ...).

This paper presents a method of climate analysis applied to the Arctic area. The data taken into account were recorded at Isfjord Radio (Spitsberg) and concerned the weather, which is regularly described (6 h, 12 h, 18 h and 24 h). Data are classified by a deductive model using four parameters (cloudiness, wind speed, yes/no precipitation when the weather is observed and before the observation time). Each resulting class is called "*climatological instantaneous ambiance*" (ACI) and could be interpreted as an elementary unit of weather. The method allows statistics on the climatic components (temperature, relative humidity, wind section, ...) and on the temporal characteristics (duration, links between the different ACI, daily associations of ACI,...) of each ACI.

This method was applied to explain the spatial temperature variation. Spatial models at two main scales (local and micro-local) were established for different ACI. Three main parameters, which explain the spatial temperature variation, are logically included into the ACI definition:

- Cloudiness, which controls the energy exchanges,
- Wind speed, which controls the turbulence and reduces the temperature differences between the stations,
- Precipitation.

Therefore the ACI is helpful for microclimatological purpose

INDEX

Mots-clés : ambiance climatique instantanée, microclimatologie

Index géographique : Norvège, Spitsberg, Arctique

Keywords : climatological instantaneous ambiance, microclimatology

AUTEUR

DANIEL JOLY

THéMA, CNRS, Université de Franche-Comté, Besançon, daniel.joly@univ-fcomte.fr